УДК 553.411.071.242.4+550.4

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ КАК СИНГЕНЕТИЧНАЯ СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ОКОЛОРУДНЫХ МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ В МЕЗОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЗОЛОТА

И.В. Кучеренко

Томский политехнический университет
E-mail: lev@tpu.ru

Обсуждаются причины сохраняющихся в течение десятилетий альтернативных представлений о металлоносности сланцевых толщ, рассматриваемых в качестве возможных источников рудного вещества. Предлагаются методические приемы унификации прикладных геохимических исследований, призванные реконструировать геохимическую историю рудогенных элементов и на этой основе определять вероятный вклад рассеянных в окружающих и вмещающих золоторудные поля породах металлов в формирование рудных тел. Приведены результаты изучения метасоматических и геохимических ореолов в кальцифирах Ирокиндинского рудного поля Северного Забайкалья. Показаны взаимосвязи тех и других ореолов, соотношения их с рудами. По совокупности признаков сделан вывод о формировании аномалий Au, Ag и других металлов в процессе метасоматизма и рудообразования посредством перемещения их от раствороподводящих разломов. Полученные материалы дополняют совокупность фактов, подтверждающих генетическую однородность месторождений, образованных в несланцевом и черносланцевом субстрате.

Введение

Продолжающаяся в течение многих десятилетий дискуссия на тему о возможной донорской функции в процессах рудообразования вмещающего золоторудные поля субстрата, прежде всего черносланцевых и зеленосланцевых толщ, подпитывается противоречивыми представлениями о природе металлоносности, в том числе золотоносности, слагающих этот субстрат горных пород не только в разных районах, но и в рамках одного разреза.

Эти противоречия можно видеть на примере изучавшегося многими специалистами Ленского золотоносного района с его уникальным месторождением Сухой Лог. Ранние, шестидесятых-семидесятых годов прошлого столетия, данные о повышенных (до десятков мг/т) и высоких (до первых г/т) содержаниях золота в углеродистых сланцах протерозойской рудовмещающей хомолхинской свиты [1–3] сменились в восьмидесятых годах утверждениями о том, что содержания металла в сланцах золотоносных и незолотоносных районов, в том числе Ленского, одинаково низки (1...5 мг/т) [4, 5], что, естественно, означало признание того, что ранее зафиксированная повышенная и высокая золотоносность вмещающих пород приобретена ими в ходе и вследствие рудообразования, следовательно, не может быть его обязательной предпосылкой. Этот вывод сформулировал один из авторов представления о сланцах как донорах В.А. Буряк [6], полагавший в то время, что количества золота в сланцах недостаточно для образования руд и требуется дополнительный его источник, из которого рудогенные элементы доставлялись глубинными сквозьмагматическими флюидами. В последние годы представление о внешних глубинных источниках золота и других металлов, сосредоточенных в рудах Сухого Лога, развивается рядом исследователей [7–10], но одновременно приводятся противоположные мнения [11–17], согласно которым рудовмещающие толщи этого района обладают повышенными дорудными содержаниями металла вплоть до 0,5...1,5 г/т [14] и обеспечивают необходимые поставки в руды.

В Енисейском золотоносном районе сланцевого типа содержания золота в сланцах рудовмещающих свит сухопитской серии в работах разных авторов составляют от 200...300 мг/т до первых г/т [18], 6,0...7,0 мг/т [19], 0,7...2,1 мг/т [20], 4,3...5,4 мг/т (континентальные фации), 1,9...2,1 мг/т (прибрежно-морские фации), 1,2...1,6 мг/т (морские фации) [5], 1,7...3,5 мг/т вне рудных полей и 16,5 мг/т в занятых рудными полями блоках [21] и т.д. Образование Советского месторождения за счет породных ресурсов золота декларируется в [22].

Известно сравнительно мало работ, в которых на добротной доказательной базе обоснованы выводы о глубинных источниках углерода, золота и сопровождающих его рудогенных элементов [23–25 и др.]. Напротив, непрочный фундамент метаморфогенно-гидротермальной концепции в разных её вариантах, предполагающей породные источники золота и других металлов, применительно к разным районам продолжают укреплять многие специалисты [26–38 и др.], не всегда утруждая себя доказательствами, вероятно, исходя из того, что мобилизация при рудообразовании металлов из рудовмещающих толщ – это не требующий доказательств факт. Имеется много свидетельств того, что считать так преждевременно, – природа более многообразна [9 и др.]. Выдвигаются предположения о ступенчатом накоплении золота в рудах с квалификацией месторождений как полигенных и полихронных [28, 29, 38 и др.], и даже о достаточности кларковых содержаний металла в окружающих породах для образования промышленных скоплений руд [38]. Последнее воспринимается как признание призрачности представлений о повышенной исходной (дорудной) металлоносности (золотоносности) рудовмещающих и окружающих пород. В большинстве такого рода работ не приводится необходимых и обязательных обоснований, вследствие чего позиции авторов представляют собой не более чем версии, которым каждый волен верить или не верить.

Таким образом, из всех факторов рудообразования предельно конкретный, способный обеспечить

посредством меры и числа минимум разночтений или исключить их геохимический фактор оказался не менее уязвимым, чем другие. Ключевой вопрос о том, повышенные содержания металлов в околорудном пространстве рудных полей – это при прочих равных условиях предпосылка (причина) или следствие рудообразования, исключая некоторые частные случаи корректных решений, остается открытым. Дискуссия по генетической проблеме, важность решения которой в теоретическом и прикладном плане трудно переоценить, перешла в хроническую стадию и обещает быть бесконечной. Чтобы этого не произошло, необходимо искать причины того, почему одни и те же породы в трудах разных исследователей получают разное геохимическое содержание, поскольку именно сюда уходят своими корнями существующие гипотезы рудообразования в геохимических их аспектах.

Анализ вероятных причин выполняется, начиная с восьмидесятых годов прошлого века [39–45], а следующие из него предложения, их цели и ожидаемые результаты реализации в наиболее полном виде сформулированы в [44, 45]. В числе главных причин определяются две: автономизация геохимических исследований и, как следствие, отрыв количественных оценок содержаний металлов, в том числе золота, от дифференцированных минерально-породных ассоциаций, представляющих процессы преобразований пород на дорудных и рудном этапах.

Проблема заключается в том, что разделение во вмещающих руды и окружающих породах золота, серебра и других элементов по принадлежности к рудному и дорудным этапам в силу чрезвычайно низких их содержаний и многообразия форм нахождения без учета синхронных минерально-породным ассоциациям импульсов их накопления или рассеивания на достигнутом методическом и аппаратурном уровне исследования вещества затруднительно или невозможно. Напротив, дифференциация геохимических выборок на основе минерально-породных ассоциаций каждого этапа и особенно вычленение таковых, образованных на рудном этапе, при условии выполнения детального минералого-петрологического картирования рудных полей и их обрамления и надлежащей квалификации исполнителей представляет решаемую задачу, в том числе в углеродистых терригенных сланцевых толщах. В последних околорудные метасоматические ореолы на фоне ареалов предшествующего регионального зонального метаморфизма, вопреки распространенному мнению [46 и др.], выражены столь же контрастно, как и в кристаллических породах [39, 43, 44 и др.]. Чтобы убедиться в этом, надо в каждом конкретном случае увидеть отчетливо выраженную принадлежность минеральных ассоциаций хлорит-биотитовой, хлорит-серицитовой и других так называемых субфаций регионального метаморфизма зеленосланцевой фации, обычно сопровождающих руды, к околорудным метасоматическим ореолам березитовой формации во внешней и промежуточной минеральных зонах пропилитоподобных изменений.

Посредством автономных геохимических исследований решаются задачи поисковой геохимии. В рамках возможностей методических приемов последней генетическая интерпретация геохимических данных, представляющих валовые содержания рудогенных элементов в породах, дифференцированных по видам и разновидностям, но без детальных минералого-петрохимических исследований субстрата каждой пробы и определения принадлежности тех или иных, в том числе аномальных, значений к конкретным поэтапным минеральным ассоциациям в веществе каждой пробы, как это следует из приведенных соображений, встречает препятствия, которые трудно или невозможно преодолеть. Поэтому, выводы о, скажем, дорудных или синрудных концентрациях металлов в породах, приводимые в многочисленных публикациях [36, 47–51 и др.], не содержащих необходимого минералого-петрохимического и петрологического сопровождения геохимических данных, но претендующих на генетическую интерпретацию геохимических полей и аномалий, воспринимаются как более желаемые авторами, чем достоверные.

Ранее [39, 43–45] приведены и обсуждались материалы, раскрывающие возможности практической реализации предложенных методических установок в протерозойских черносланцевых и отчасти архейских ультраметаморфических рудовмещающих толщах Северного Забайкалья. В настоящей статье – очередной в намеченном цикле, продолжается публикация новых данных, в перспективе имеющая своей целью рассмотреть условия формирования геохимических полей и аномалий благородных и других металлов в околорудном пространстве, сложенном разным по составу и происхождению субстратом, в том числе кристаллическим и сланцевым, в сравнительном аспекте. Ожидаемые результаты этой работы призваны обеспечить решение ряда задач прикладной геохимии [44] и уточнение положений теории гидротермального рудообразования в части диагностики источников рудного вещества.

Необходимые методические выкладки даны в [43–45]. Отметим, что содержания благородных металлов определялись методом атомной абсорбции с чувствительностью $1 \cdot 10^{-8}$ % в лаборатории ядерно-физических методов анализа ОИГГиМ СО РАН (г. Новосибирск, аналитик В.Г. Цимбалист), ртути – тем же методом с чувствительностью $1 \cdot 10^{-7}$ % в ЦЛ ПГО «Березовгеология» (г. Новосибирск) под руководством Н.А. Чарикова, других металлов – приближенно-количественным спектральным методом там же.

1. Минералого-петрохимическая зональность апокальцифировых околожильных метасоматических ореолов

Анализируется субстрат земной коры, сложенный пачками кальцифиров мощностью до нескольких десятков метров каждая в составе архейского ультраметаморфического фундамента Муйского

Таблица 1. *Химические составы кальцифира Ирокиндинского рудного поля (межореольное пространство и подзона слабого изменения внешней зоны околожильных метасоматических ореолов)*

Расстояние от золоторудных жил, м	Содержание, мас. %														Σ
	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	S сульфид.	CO_2	CaO	MgO	FeO	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	P_2O_5	H_2O^+	
98,1	32,56	7,71	0,39	0,84	0,00	17,1	33,9	1,04	2,64	0,98	0,45	0,05	0,11	0,53	98,30
97,8	23,93	6,99	0,80	0,84	0,00	24,3	36,3	1,32	2,24	1,66	0,38	0,03	0,10	0,26	99,15
23,8	29,57	8,64	1,00	0,84	0,11	17,4	34,8	1,52	2,49	1,86	0,50	0,06	0,11	0,33	99,23
12,8	39,44	10,04	1,50	2,48	0,01	12,9	24,6	2,00	3,89	1,91	0,63	0,14	0,15	0,06	99,75
4,0	39,66	10,04	2,10	1,00	0,01	11,1	27,9	2,20	2,62	1,89	0,42	0,07	0,07	0,28	99,36
0,5	32,77	9,68	1,50	2,18	0,02	15,6	30,2	2,01	2,48	1,74	0,38	0,09	0,08	0,58	99,31

Примечание. Полные химические силикатные анализы кальцифиров и апокальцифировых метасоматитов (табл. 2) выполнены в ЦЛ ПГО «Запсибгеология», г. Новокузнецк, под руководством И.А. Дубровской.

выступа в объеме мезотермального Ирокиндинского кварцево-жильного поля, расположенного на южном приводораздельном склоне Южно-Муйского хребта в интервале высот 950...2300 м [52].

Кальцифирам свойствен пестрый цвет, тонкая и грубая полосчатость в микроскладчатых формах, обусловленная чередованием полосок мощностью до 4...5 см, сложенных преобладающе гранатом, пироксеном или кварц-полевошпат-кальцитовым агрегатом. Структура породы гранобластовая, мелко-крупно-кристаллическая (до 1 мм). В минеральных агрегатах преобладает кальцит (до 60 %) с участием в переменных количествах андезина (№ 35–43), микроклина (пл. сп. ⊥ 021, –2V=84°, опт. знак –), замещающего плагиоклаз, диопсида (+2V=58°, C:Ng=35...40°, опт. знак +, Ng=1,696...1,702, Np=1,664...1,670), альмандина (1,827<N<1,834) и с примесью кварца, обыкновенной роговой обманки (–2V=76...84°, C:Ng=14...30°, опт. знак –, Ng=1,678...1,690, Np=1,658...1,674), сфена. Амфибол присутствует в разобщенных с диопсидом полосках. Химические составы пород приведены в табл. 1.

Золоторудные кварцевые жилы сопровождаются крупнообъемными зональными метасоматическими ореолами мощностью до сотен метров, которые в междужильном пространстве своими внешними зонами нередко сливаются друг с другом, образуя единый ореол рудного поля. Внутренняя граница внешней зоны фиксируется на расстояниях до многих десятков метров от жил, хлоритовой, – до метров, альбитовой, – до первых десятков см. Вместе с тем, останцы слабо измененных или не измененных кальцифиров можно встретить в непосредственной близости от рудовмещающих структур.

Схема минеральной зональности метасоматических ореолов включает пять минеральных зон (подчеркнуты минералы, исчезающие в более тыловых зонах).

Внешняя: серицит + кварц + лейкоксен + рутил + магнетит ± пирит + альбит + цоизит – эпидот ± хлорит ± тремолит; исход. диопсид;

Хлоритовая: серицит + кварц ± кальцит + лейкоксен + рутил + магнетит + пирит + альбит + цоизит – эпидот ± хлорит;

Альбитовая: серицит + кварц ± кальцит ± доломит – анкерит + лейкоксен + рутил + магнетит + пирит ± апатит + графит + альбит;

Тыловая: кварц ± кальцит + доломит – анкерит ± сидерит + лейкоксен + рутил + магнетит + пирит + апатит + графит + серицит;

Осевая: золоторудная кварцевая жила – кварц + карбонаты + сульфиды + золото.

В объеме каждой минеральной зоны количество новообразованных минералов возрастает в направлении к её внутренней границе. По этому признаку наиболее крупнообъемная внешняя зона дифференцирована на подзоны слабого, умеренного, интенсивного изменения (до 10, 10...20, 20...30 % новообразованных минералов соответственно).

Типоморфный минерал внешней зоны тремолит замещает диопсид и амфибол, давая сноповидные скопления игольчатых и удлиненных призматических бесцветных кристаллов, замещаемых, в свою очередь, агрегатами серицита и кварца. Плагиоклаз содержит вкрапленность серицита, кальцита и цоизита в виде «оспенных» выделений; иногда его кристаллы обрастают каемками свежего альбита. «Оспенные» выделения кварца и цоизита отмечены в пелитизированном микроклине. Хлорит как продукт замещения амфибола, реже диопсида, содержит новообразованные рутил, лейкоксен, магнетит, сохраняющиеся и в замещающем хлорит серицит. Эпидот замещает цоизит, развиваясь по периферии кристаллов последнего и вдоль микротрещин в них. В направлении к тыловым зонам возрастает номенклатура и масса новообразованных карбонатов и увеличиваются (до 1...2 мм) размеры метакристаллов-ромбоэдров. Характерная особенность минерального состава апокальцифировых метасоматитов – незначительное (до 5 %) содержание кварца и присутствие скоплений тонкой «сыпи» графитоида, сохраняющих форму былых зерен кальцита. Из исходных минералов в тыловой зоне сохраняются только кварц, апатит и частично кальцит.

Преобразования химического состава кальцифиров характеризуются возрастанием в направлении тыловой зоны удельной массы перемещенного

Таблица 2. *Коэффициенты распределения (привноса > 1, выноса < 1) петрогенных элементов в минеральных зонах околожильных метасоматических ореолов, образованных в кальцифирах Ирокиндинского рудного поля.*

Минеральные зоны, подзоны, в скобках число проб		Химические элементы															Δ
		Si	Al	K	Na	S сульфид.	$C_{кб.}$	Ca	Mg	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Ti	Mn	P	H (H_2O^+)	O	
Внешняя	Умеренного изменения (13)	1,0	1,0	0,9	1,2	1,5	1,0	1,0	1,0	1,2	0,7	1,0	1,8	1,1	0,9	1,0	2,9
	Интенсивного изменения (7)	1,0	1,0	1,3	1,0	5,5	1,0	0,9	1,0	0,9	0,6	1,1	1,3	1,2	3,0	1,0	4,8
Хлоритовая (6)		0,7	0,8	1,0	0,6	3,5	1,4	1,0	0,9	0,9	0,7	1,0	0,8	1,1	1,6	1,0	9,5
Альбитовая (8)		1,0	1,1	1,8	1,2	4,4	1,1	0,7	1,3	1,3	0,5	1,3	1,4	1,3	2,3	1,0	13,7
Тыловая (18)		1,0	1,3	3,0	0,3	22	1,0	0,5	1,8	1,8	0,5	1,8	1,8	1,9	4,1	1,0	19,8

Примечание. 1) Коэффициенты распределения элементов в метасоматитах относительно неизмененных и слабо измененных кальцифиров вне и на дальней периферии околожильных метасоматических ореолов (6 проб) получены с использованием результатов петрохимических пересчетов по объемно-атомному методу полных химических силикатных анализов проб. 2) Δ *– удельная масса перемещенного (привнесенного и вынесенного) вещества в процентах к массе вещества исходной породы в стандартном геометрическом объеме 10000* $Å^3$

вещества (табл. 2). Наиболее существенно поступление в ореолы калия, восстановленной серы, магния, титана, фосфора, марганца, воды и удаление натрия и кальция при незначительном изменении концентраций кремния, алюминия, углерода в окисленной форме.

2. Геохимические черты кальцифиров и апокальцифировых метасоматитов

Данные о содержаниях металлов в околорудном пространстве рудного поля, сложенном кальцифирами, приведены в табл. 3. В порядке комментария отметим следующее.

Таблица 3. *Оценка параметров распределения рудогенных элементов и корреляционных связей золота с рудогенными элементами в минеральных зонах околожильных метасоматических ореолов, образованных в кальцифирах Ирокиндинского рудного поля*

Элементы	Параметры распределения	Минеральные подзоны и зоны, в скобках число проб					
		Внешняя			Хлоритовая (7)	Альбитовая (18)	Тыловая (53)
		Слабого изменения (25)	Умеренного изменения (23)	Интенсивного изменения (6)			
Au	$\bar{x}g(\bar{x})$	0,9(1,2)	0,9(1,4)	0,9(1,0)	1,0(1,2)	1,7(5,7)	7,2(188,0)
	$t(s)$	2,1(1,7)	2,3(1,9)	1,8(0,6)	1,7(0,6)	4,0(12,1)	8,4(982,7)
Ag	$\bar{x}g(\bar{x})$	42,5(53,4)	30,9(36,1)	44,4(47,6)	52,0(70,8)	175,6(399,7)	112,0(242,0)
	$t(s)$	2,2(32,1)	1,9(20,2)	1,5(20,8)	2,8(46,8)	3,7(603,3)	3,5(408,0)
	$r(sr)$	**0,75(0,17)**	0,09(0,37)	**0,80(0,16)**	0,03(0,50)	**0,91(0,05)**	**0,47(0,16)**
	Au/Ag	0,02(0,02)	0,03(0,04)	0,02(0,02)	0,02(0,02)	0,01(0,01)	0,06(0,78)
Hg	$\bar{x}g(\bar{x})$	23,8(29,6)	21,6(32,4)	32,5(39,6)	23,4(30,3)	27,0(48,8)	41,7(64,7)
	$t(s)$	2,0(19,9)	2,3(35,3)	2,1(25,5)	2,2(24,2)	3,1(56,4)	2,7(63,6)
	$r(sr)$	−0,36(0,33)	−0,54(0,27)	−0,06(0,45)	0,47(0,39)	0,0002(0,29)	0,24(0,19)
V	$\bar{x}g(\bar{x})$	40(40)	40(40)	30(40)	40(40)	40(40)	50(50)
	$t(s)$	1,7(30)	1,5(20)	1,8(20)	1,3(10)	1,5(20)	1,6(30)
	$r(sr)$	0,20(0,36)	−0,41(0,26)	**0,60(0,29)**	0,14(0,49)	0,31(0,26)	−0,05(0,20)
Ni	$\bar{x}g(\bar{x})$	20(20)	20(20)	30(30)	20(20)	20(20)	30(30)
	$t(s)$	1,8(10)	1,7(10)	1,6(10)	1,7(10)	1,6(10)	2,0(40)
	$r(sr)$	0,12(0,37)	−0,14(0,31)	0,24(0,42)	**0,71(0,25)**	0,25(0,27)	−0,22(0,19)
Co	$\bar{x}g(\bar{x})$	7(10)	6(8)	6(6)	5(7)	4(5)	6(8)
	$t(s)$	3,1(20)	2,4(6)	1,6(3)	2,5(5)	1,9(3)	2,5(7)
	$r(sr)$	−0,26(0,35)	−0,35(0,28)	**0,62(0,28)**	−0,19(0,48)	**0,50(0,22)**	0,06(0,20)
Cu	$\bar{x}g(\bar{x})$	30(30)	30(30)	30(30)	30(30)	30(30)	30(40)
	$t(s)$	1,5(10)	1,6(10)	1,3(8)	1,3(7)	1,4(10)	1,7(20)
	$r(sr)$	−0,05(0,38)	−0,02(0,32)	0,50(0,34)	0,37(0,43)	0,41(0,24)	−0,02(0,20)
Pb	$\bar{x}g(\bar{x})$	20(20)	20(20)	30(30)	20(20)	20(30)	20(40)
	$t(s)$	2,2(10)	1,7(10)	2,1(20)	1,4(5)	1,9(20)	2,1(70)
	$r(sr)$	0,49(0,29)	−0,24(0,30)	0,49(0,34)	**0,77(0,21)**	−0,13(0,28)	0,33(0,18)
Zn	$\bar{x}g(\bar{x})$	40(60)	40(60)	40(40)	40(40)	40(40)	50(70)
	$t(s)$	2,1(80)	1,9(80)	1,4(20)	1,3(10)	1,4(20)	2,1(100)
	$r(sr)$	−0,06(0,38)	0,01(0,32)	0,57(0,30)	**0,77(0,21)**	−0,39(0,25)	0,15(0,20)
As	$\bar{x}g(\bar{x})$	20(20)	20(20)	20(20)	30(30)	20(20)	40(70)
	$t(s)$	1,2(6)	1,3(8)	н.д.	1,6(20)	1,5(20)	2,6(100)
	$r(sr)$	−0,40(0,32)	н.д.	н.д.	**0,81(0,17)**	**0,58(0,19)**	0,25(0,19)

Примечание. 1) $\bar{x}g(\bar{x})$ *– среднее соответственно геометрическое и арифметическое содержание, мг/т (Au, Ag, Hg), г/т (остальные элементы); t – стандартный множитель, s – стандартное отклонение содержаний, мг/т (Au, Ag, Hg), г/т (остальные элементы); r – коэффициент парной линейной корреляции элементов с золотом, выше уровня значимости обозначен более жирным шрифтом, sr – стандартное отклонение коэффициента корреляции; н.д. – нет данных. 2) Расчеты выполнены Н.П. Ореховым*

Таблица 4. *Оценка значимости различий параметров логнормального распределения золота (а), серебра (б), ртути (в) (среднего арифметического и стандартного отклонения логарифмов содержаний) в минеральных зонах околожильных метасоматических ореолов, образованных в кальцифирах Ирокиндинского рудного поля (для 5 % уровня значимости)*

t — критерий

а)

f - критерий	Минеральные зоны, подзоны, в скобках число проб	Внешняя			Хлоритовая (5)	Альбитовая (18)	Тыловая (54)
		Слабого изменения (10)	Умеренного изменения (10)	Интенсивного изменения (6)			
Внешняя	Слабого изменения (10)		0,0624 2,10	0,0844 2,14	0,4971 2,16	1,4650 2,06	**3,1105** 2,00
Внешняя	Умеренного изменения (10)	1,2441 4,02		0,0207 2,14	0,4010 2,16	1,3972 2,06	**3,0711** 2,00
Внешняя	Интенсивного изменения (6)	1,6811 6,61	2,0915 6,68		0,4639 2,26	1,1294 2,07	**2,3892** 2,00
	Хлоритовая (5)	1,8725 8,90	2,3295 8,90	1,1138 9,36		0,7934 2,08	**2,0199** 2,00
	Альбитовая (18)	3,5579 3,70	2,8598 3,70	5,9813 6,38	6,6621 8,60		**2,6621** 2,00
	Тыловая (54)	**8,3042** 3,46	**6,6748** 3,46	**13,9603** 6,15	**15,5492** 8,38	2,3340 2,42	

б)

f - критерий	Минеральные зоны, подзоны, в скобках число проб	Внешняя			Хлоритовая (5)	Альбитовая (13)	Тыловая (26)
		Слабого изменения (10)	Умеренного изменения (7)	Интенсивного изменения (5)			
Внешняя	Слабого изменения (10)		0,8778 2,13	0,1137 2,16	0,4195 2,16	**3,0173** 2,08	**2,2392** 2,03
Внешняя	Умеренного изменения (7)	1,6663 5,52		1,1345 2,20	1,0979 2,23	**3,2952** 2,10	**2,5823** 2,04
Внешняя	Интенсивного изменения (5)	3,9557 8,90	2,3740 9,19		0,3198 2,31	**2,2756** 2,12	1,5966 2,05
	Хлоритовая (5)	1,6383 4,71	2,7299 6,22	6,4808 9,60		1,8626 2,12	1,2695 2,05
	Альбитовая (13)	2,6418 3,86	4,4019 5,36	**10,4503** 8,75	1,6125 8,75		1,0356 2,02
	Тыловая (26)	2,4905 3,60	4,1499 5,09	**9,8520** 8,50	1,5202 8,50	1,0607 2,51	

в)

f - критерий	Минеральные зоны, подзоны, в скобках число проб	Внешняя			Хлоритовая (6)	Альбитовая (15)	Тыловая (49)
		Слабого изменения (20)	Умеренного изменения (19)	Интенсивного изменения (5)			
Внешняя	Слабого изменения (20)		0,3821 2,02	0,8970 2,07	0,0480 2,06	0,4223 2,03	**2,3447** 2,00
Внешняя	Умеренного изменения (19)	1,5297 2,57		0,9740 2,07	0,2002 2,07	0,6627 2,04	**2,5757** 2,00
Внешняя	Интенсивного изменения (5)	1,1944 3,55	1,2807 8,55		0,7037 2,26	0,3400 2,10	0,5498 2,01
	Хлоритовая (6)	1,3203 3,33	1,1586 6,36	1,1054 9,36		0,2882 2,09	1,3927 2,01
	Альбитовая (15)	**2,6523** 2,63	1,7339 2,68	2,2206 8,70	2,0089 6,48		1,4505 2,00
	Тыловая (49)	2,0033 2,30	1,3097 2,36	1,6773 8,40	1,5174 6,15	1,3239 2,22	

Примечание. Числа над чертой – значения расчетные, под чертой – значения табличные на критическом уровне, полужирным шрифтом – различия значимы

В кальцифирах, не затронутых изменениями в межореольном пространстве и останцах вблизи рудных тел, а также в относительно слабо измененных во всем объеме внешней зоны, содержания золота одинаковы и приближаются к 1 мг/т. Концентрации серебра, ртути и других металлов варьируют незначительно при незначительных же (незначимых) вариациях дисперсии распределения (табл. 4, рис.). В направлении к тыловой зоне метасоматических ореолов содержания благородных металлов возрастают, начиная с промежуточной хлоритовой зоны, но значимо отличные от периферии средние и дисперсии распределения фиксируются только в тыловой (Au), альбитовой и тыловой (Ag) зонах. Абсолютные значения средних сравнительно невысоки. Au-Ag отношение слабо увеличено только в тыловой зоне, что согласуется с незначительным увеличением здесь содержания золота. Положительная связь серебра с золотом отмечается не всегда, но характерна для тыловых зон.

Содержания ртути достигают аномальных значений в тыловой зоне. Из других металлов обнаруживает тенденцию к увеличению концентрации в тыловой зоне мышьяк, связанный с золотом положительной связью лишь в хлоритовой и альбитовой зонах. На периферии метасоматических ореолов положительные связи с золотом некоторых металлов (V, Co, Ni, Pb, Zn) отмечаются эпизодически.

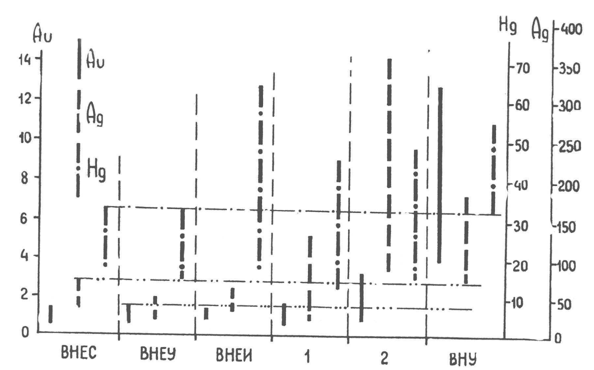


Рисунок. *Доверительные интервалы колебаний среднего геометрического содержания золота, серебра, ртути (мг/т) в минеральных зонах околожильных метасоматических ореолов, образованных в кальцифирах Ирокиндинского рудного поля (при 5 % уровне значимости). ВНЕС, ВНЕУ, ВНЕИ – подзоны слабого, умеренного, интенсивного изменения внешней зоны; 1, 2, ВНУ – хлоритовая, альбитовая, тыловая зоны*

3. Обсуждение результатов и выводы

Исходные породы Муйского выступа фундамента Сибирской платформы в объеме Ирокиндинского рудного поля претерпели минералого-химические преобразования дважды – на позднеархейском этапе ультраметаморфизма и позднепалеозойском этапе метасоматизма и рудообразования.

Как и в других породах рудного поля – альмандин-диопсид-двуполевошпатовых парагнейсах [43], ультраметаморфических гранитах [45] апокальцифировые околожильные метасоматические ореолы по минералого-петрохимическим чертам отвечают березитовой формации, но обладают рядом особенностей.

Общие во всех случаях черты: 1) сопоставимые объемы и порядок минеральной зональности (структура) ореолов; 2) возрастание интенсивности преобразований минерального и химического состава исходных пород от одной минеральной зоны к другой и в объеме каждой минеральной зоны в направлении к рудным жилам; 3) ослабление зависимости минералого-химического состава наиболее полно проявленных метасоматитов тыловых зон от состава исходного субстрата в условиях кислотного средне-низкотемпературного метасоматизма; 4) полиминеральный состав тыловой и осевой зон; 5) сохранность кристаллов кварца исходных пород в метасоматитах тыловых зон как признак кислотного режима растворов; 6) обогащение метасоматитов тыловой зоны титаном (лейкоксен, рутил) и фосфором (апатит), обусловленное привносом в ореолы дополнительных количеств этих элементов и объяснимое инверсией щелочных (сильно щелочных) режимов поднимающихся потоков металлоносных растворов на кислотный на нижних подступах к формирующемуся рудному полю и другие.

Особенности апокальцифировых околожильных метасоматических ореолов заключаются в следующем.

Во-первых, отсутствуют признаки удаления из ореолов кремния и накопления в них дополнительно к имеющимся значительным количествам углекислоты. Это вообще свойственно процессу взаимодействия углекислотных гидротермальных растворов с малокремнистыми, но высококарбонатными породами. Имеющиеся ресурсы кремнезема, высвобождаемого при разложении цветных минералов и особенно полевых шпатов, вместе с глиноземом, дополнительно поступающими калием и водой расходуются на образование светлой слюды, так что к кварцу исходной породы в этом процессе либо не добавляется новообразованный кварц, либо его добавляется мало и порода остается малокварцевой. С учетом всего этого метасоматит тыловой зоны идентифицируется как лиственит.

Во-вторых, апокальцифировый лиственит, в отличие от светло-серого апогнейсового, апогранитного березита рудного поля и в общем-то светлого исходного кальцифира, приобретает в метасоматическом процессе черный цвет вследствие массового образования в зернах кальцита тончайшей густой вкрапленности и скоплений новообразованного графитоида. Скопления последнего строго «привязаны» к былым зернам кальцита и в случае полного замещения повторяют их контуры, а при неполном замещении занимают часть их объема, образуя густую «сыпь». Графитизация лиственита объясняется воздействием на кальцит высокотемпературных (видимо, ранних) восстановленных флюидов, его диссоциацией с образованием промежуточных продуктов – углекислотных газов (CO, CO_2) и последующим восстановлением углерода последних до атомарного состояния. Учитывая пространственную совмещенность скоплений графитоидов с зернами кальцита, есть основание полагать, что этот процесс происходил в локальных объемах отдельных зерен. Реальность приведенной схемы подтверждается признаками, свидетельствующими о восстановленном режиме металлоносных флюидов, – обилием углеводородов, присутствием катионов водорода, азота в вакуолях образованного в процессе кварца рудных жил и березитов.

Вне сферы воздействия гидротермальных растворов этапа метасоматизма и рудообразования, то есть за пределами околожильных метасоматических ореолов и в останцах внутри них, содержания металлов, очевидно, свойственны исходным ультраметаморфическим породам – кальцифирам и близки к таковым в исходных для метасоматизма парагнейсах [43], ультраметаморфических граните и лейкограните [45]. В большей периферийной части объемов апокальцифировых метасоматических ореолов содержания золота, серебра, ртути, мышьяка сохраняются на том же уровне, равно как и остальных металлов во всем объеме ореолов. Слабоконтрастные аномальные концентрации четырех металлов свойственны тыловым зонам, то есть непосредственно обрамляют рудные жилы, обнаруживая зависимость их накопления от формирования последних. Эта ассоциация демонстрирует на-

ибольшую геохимическую близость в метасоматическом процессе, как и в рудообразующем процессе в целом. В метасоматитах и рудах серебро и ртуть образуют с золотом сплав, мышьяк входит в качестве примеси в состав пирита [43].

Отсутствие в апокальцифировых лиственитах, в том числе в обрамлении рудных столбов, аномалий ряда цветных, обычно сопровождающих золото металлов представляет исключение из общего правила, заключающегося в том, что в высококарбонатной среде мезотермальные золотые кварцево-жильные руды обычно обогащены сульфидами. Объяснения этому исключению пока не найдено. Можно предположить, что слабое обогащение все же будет выявлено с использованием более высокочувствительных сравнительно со спектральным методов анализа.

Приведенная картина распределения благородных металлов в околорудном пространстве, сложенном кальцифирами, сходна с той, которая рассмотрена ранее на примере черносланцевых толщ Каралонского [44] и Кедровского [43] рудных полей, ультраметаморфитов Ирокиндинского рудного поля [43, 45]. В разных условиях сланцевого и несланцевого субстрата формируется одинаковая структура геохимического поля. Отчетливо выражена причинно-следственная связь его с ореолами околорудного метасоматизма, приуроченность аномалий благородных и ряда других металлов к тыловым зонам последних, сложенных наиболее полнопроявленными метасоматитами в непосредственном обрамлении золоторудных кварцевых жил и минерализованных зон. Очевидно, во всех этих случаях реализован один стандартный механизм массопереноса – перемещения металлов, как и поступающих в ореолы петрогенных компонентов (K, S, CO_2, P, Ti и др.) в направлении от стволовых и оперяющих их заполненных металлоносными растворами разломов, большая часть которых выполняет и функцию рудовмещающих. Помимо прочего, рассмотренные, в том числе опубликованные ранее, геохимические материалы дополняют совокупность фактов [9], подчеркивающих генетическую однородность золотых месторождений, образованных в черносланцевом и кристаллическом субстрате.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коткин В.В. Роль литологического фактора в размещении золоторудных проявлений в центральной части Ленской провинции // Вопросы геологии месторождений золота Сибири. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1968. – С. 107–108.
2. Гапон А.Е., Гапеева М.М. Закономерности локализации золоторудных узлов в южной части Патомского нагорья // Доклады АН СССР. – 1969. – Т. 185. – № 2. – С. 408–411.
3. Буряк В.А. Критерии поисков золотого оруденения метаморфогенно-гидротермального типа // Советская геология. – 1975. – № 10. – С. 35–48.
4. Буряк В.А. Состояние и основные нерешенные вопросы теории метаморфогенного рудообразования // Региональный метаморфизм и метаморфогенное рудообразование. – Киев: Наукова Думка, 1984. – С. 43–50.
5. Горжевский Д.И., Зверева Е.А., Ганжа Г.Б. Углеродсодержащие терригенные формации с золото-сульфидным оруденением // Советская геология. – 1988. – № 9. – С. 113–121.
6. Буряк В.А. Метаморфогенно-плутоногенный тип золоторудных месторождений // Доклады АН СССР. – 1983. – Т. 270. – № 4. – С. 934–937.
7. Лаверов Н.П., Дистлер В.В., Митрофанов Г.Л. и др. Платина и другие самородные металлы в рудах месторождения золота Сухой Лог // Доклады РАН. – 1997. – Т. 355. – № 5. – С. 664–668.
8. Лаверов Н.П., Прокофьев В.Ю., Дистлер В.В. и др. Новые данные об условиях рудоотложения и составе рудообразующих флюидов золото-платинового месторождения Сухой Лог // Доклады РАН. – 2000. – Т. 371. – № 1. – С. 88–92.
9. Кучеренко И.В. Петрологические и металлогенические следствия изучения малых интрузий в мезотермальных золоторудных полях // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 1. – С. 49–57.
10. Лишневский Э.Н., Дистлер В.В. Глубинное строение земной коры района золото-платинового месторождения Сухой Лог // Геология рудных месторождений. – 2004. – Т. 46. – № 1. – С. 88–96.
11. Рундквист И.К., Бобров В.А., Смирнова Т.Н. и др. Этапы формирования Бодайбинского золоторудного района // Геология рудных месторождений. – 1992. – Т. 34. – № 6. – С. 3–15.
12. Буряк В.А., Хмелевская Н.М. Сухой Лог – одно из крупнейших золоторудных месторождений мира (генезис, закономерности размещения оруденения, критерии прогнозирования). – Владивосток: Дальнаука, 1997. – 156 с.
13. Буряк В.А., Бакулин Ю.И. Металлогения золота. – Владивосток: Дальнаука, 1998. – 402 с.
14. Буряк В.А., Гончаров В.И., Сидоров А.А. и др. Генетические и минерально-морфологические типы крупнообъемных месторождений золота в углеродистых толщах // Золото Сибири: Труды Второго Междунар. симп., г. Красноярск, 4–6 декабря 2001 г. – Красноярск: КНИИГГИМС, 2001. – С. 24–26.
15. Вилор Н.В., Кажарская М.Г., Меньшиков В.И. и др. Химические корреляции распределения золота, сурьмы и мышьяка в черносланцевой формации // Геология, геохимия и геофизика на рубеже XX и XXI веков: Матер. Всерос. научн. конф., посвящ. 10-летию РФФИ, г. Иркутск, 1–4 окт. 2002 г. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2002. – С. 187–188.
16. Лобанов М.П., Синцов А.В., Сизых В.И. и др. О генезисе продуктивных «углистых» сланцев Ленского золотоносного района // Доклады РАН. – 2004. – Т. 394. – № 3. – С. 360–363.
17. Буряк В.А., Гончаров В.И., Горячев Н.А. и др. // Доклады РАН. – 2005. – Т. 400. – № 1. – С. 56–59.
18. Петров В.Г. Условия золотоносности северной части Енисейского кряжа. – Новосибирск: Наука, 1974. – 138 с.
19. Ли В.Г. Геохимические основы регионального прогноза локализации золотого оруденения в складчатом поясе байкалид Сибири // Методы прикладной геохимии: Тез. докл. 2 Междунар. симп., г. Иркутск, 25 сент. – 2 окт. 1981 г. – Ч. 2. – Иркутск, 1981. – С. 11–12.
20. Сазонов А.М. Минералого-геохимические признаки метаморфогенного генезиса золотого оруденения Средней Сибири // Критерии отличия метаморфогенных и магматогенных гидротермальных месторождений. – Новосибирск: Наука, 1985. – С. 47–53.
21. Сазонов А.М., Звягина Е.А. Распределение золота и углерода в сланцах Енисейского кряжа // Бассейны черносланцевой седиментации и связанные с ними полезные ископаемые: Тез. докл. Междунар. симп., г. Новосибирск, 5–9 авг. 1991 г. – Новосибирск: ОИГГМ СО АН СССР, 1991. – С. 126–127.

22. Григоров В.Т. Крупнейшие золоторудные месторождения Енисейского кряжа и Кузнецкого Алатау и их экономическая оценка с позиции стратиформного рудообразования. – М.: Научный мир, 2003. – 168 с.
23. Томсон И.Н., Полякова О.П., Полохов В.П. и др. Условия образования эндогенных «черных сланцев» в Приморье // Геология рудных месторождений. – 1993. – Т. 35. – № 4. – С. 344–350.
24. Благонадеждин Б.И., Бочаров В.Л. Эволюция эндогенного золотого оруденения структур раннего протерозоя // Отечественная геология. – 1995. – № 6. – С. 3–7.
25. Ханчук А.И., Плюснина Л.П., Молчанов В.П. Первые данные о золото-платиноидном оруденении в углеродистых породах Ханкайского массива и прогноз крупного месторождения благородных металлов в Приморском крае // Доклады РАН. – 2004. – Т. 397. – № 4. – С. 524–529.
26. German J.M. Geologic setting and genesis of gold deposits of the Dahlonega and Carroll County gold belts, Georgia // Economic Geology. – 1989. – V. 84. – № 4. – P. 903–923.
27. Долженко В.Н. Золотоносные толщи докембрия и палеозоя Кыргызстана // Геохимия. – 1993. – № 11. – С. 1620–1628.
28. Нарсеев В.А. О генезисе золото-сульфидного оруденения в черносланцевых толщах // Отечественная геология. – 1998. – № 5. – С. 70–75.
29. Чекваидзе В.Б., Исакович И.З., Миляев С.А. и др. Этапы формирования минералого-геохимических ореолов на Бакырчикском золоторудном месторождении (Восточный Казахстан) // Известия вузов. Геология и разведка. – 1999. – № 6. – С. 62–67.
30. Берзон Р.О., Брызгалов И.А., Конышев В.О. и др. Геологическое строение, минеральный состав и условия формирования золото-ртутного месторождения Кючюс (Якутия, Россия) // Геология рудных месторождений. – 1999. – Т. 41. – № 6. – С. 485–506.
31. Сизых А.И., Сизых Н.В. Эволюция эндогенных режимов и золотого оруденения в Окинском метаморфическом поясе Восточного Саяна // Геология, поиски и разведка месторождений рудных полезных ископаемых. Межвузовский сб. Вып. 23. – Иркутск: Иркутск. гос. технич. ун-т, 1999. – С. 78–87.
32. Ажгирей Д.Г., Светлов С.А., Гурейкин Н.Я. и др. Связь золотого оруденения с плутоническим метаморфизмом в миогеосинклинальной области южного Тянь-Шаня // Руды и металлы. – 2000. – № 4. – С. 47–52.
33. Степанов В.А. Зональность золото-кварцевого оруденения Центральной Колымы. – Владивосток: Дальнаука, 2001. – 70 с.
34. Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Бахарев А.Г. и др. Условия зарождения и эволюции гранитоидных золоторудно-магматических систем в мезозоидах Северо-Востока Азии. – Магадан: СВ КНИИ ДВО РАН, 2003. – 196 с.
35. Стогний Г.А., Стогний В.В. Гранитогнейсовые купола – рудоконтролирующие структуры Верхояно-Колымской орогенной области // Известия вузов. Геология и разведка. – 2004. – № 4. – С. 8–12.
36. Парада С.Г. Условия формирования и золотоносность черносланцевых комплексов Амуро-Охотской складчатой области: Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. – Ростов-на-Дону: Ростовский гос. ун-т, 2004. – 48 с.
37. Волков А.В., Сидоров А.А. Этапы формирования и конвергенция золото-кварцевого оруденения Северо-Востока России // Доклады РАН. – 2005. – Т. 401. – № 1. – С. 52–57.
38. Жатнуев Н.С., Миронов А.Г., Дампилов Д.А. и др. Экспериментальное исследование поведения золота в магматическом и гидротермальном процессах (к проблеме источников вещества золоторудных месторождений) // Золото Сибири: Тез. докл. I Сибирского симп. с международным участием, г. Красноярск, 1–3 декабря 1999 г. – Красноярск: КГАЦМиЗ, 1999. – С. 101–103.
39. Кучеренко И.В. Петрогеохимические особенности рудообразования в сланцевых толщах // Разведка и охрана недр. – 1986. – № 12. – С. 24–28.
40. Кучеренко И.В. О совершенствовании системы опробования при картировании метасоматических образований в золотоносных районах сланцевого типа // Рудоносные метасоматические формации Урала: Информационные материалы. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. – С. 63–64.
41. Кучеренко И.В. Методические аспекты геохимических исследований в терригенных углеродистых сланцевых толщах // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях: Тез докл. IV Всес. совещ., г. Ужгород, октябрь 1988 г. – Т. 2. – М.: ИМГРЭ, 1988. – С. 58–59.
42. Кучеренко И.В. Геохимические выборки в оценке структуры и природы геохимических полей в сланцевых толщах // Тез. докл. IV объединенного Междунар. симп. по проблемам прикладной геохимии, г. Иркутск, сентябрь 1994 г. – Т. 1. – Иркутск: Лисна, 1994. – С. 31–32.
43. Кучеренко И.В. Золото, серебро, ртуть в золотоносных апогнейсовых и апосланцевых околорудных метасоматических ореолах березитовой формации // Известия Томского политехнического университета. – 2000. – Т. 303. – № 1. – С. 161–169.
44. Кучеренко И.В. К методике формирования выборок для расчета статистических параметров распределения и баланса химических элементов в околорудном пространстве гидротермальных месторождений золота // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 2. – С. 23–30.
45. Кучеренко И.В. Сингенез околорудных метасоматических и геохимических ореолов в мезотермальных месторождениях золота // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 3. – С. 22–28.
46. Русинова О.В., Русинов В.Л. Метасоматический процесс в рудном поле Мурунтау (Западный Узбекистан) // Геология рудных месторождений. – 2003. – Т. 45. – № 1. – С. 75–96.
47. Савицкий А.В., Былинская Л.В., Зайцев В.С. и др. Новые данные о стратиформном комплексном золото-платиноидном оруденении в шунгитоносных породах Онежской впадины (Южная Карелия) // Доклады РАН. – 1999. – Т. 365. – № 5. – С. 674–676.
48. Абрамов Б.Н., Чернышова Н.А. Золото и платиноиды в черносланцевых отложениях Северного Забайкалья // Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология: Тез. докл. Третьего Всерос. симп. с международным участием, г. Улан-Удэ, 21–25 сент. 2004 г. – Улан-Удэ: Изд-во Бурят. научного центра СО РАН, 2004. – С. 3–5.
49. Лось В.Л. Теоретические, методические и технологические основы прогноза рудных объектов // Геонауки в Казахстане. – Алматы: Казгео, 2004. – С. 228–239.
50. Панфилов Р.В., Гетманский И.И. Разноранговые аномальные геохимические поля как отражение эволюции рудогенерирующей системы // Известия вузов. Геология и разведка. – 2004. – № 6. – С. 79–83.
51. Ляхович Т.Т. Зональность первичных ореолов золоторудных месторождений // Известия вузов. Геология и разведка. – 2004. – № 6. – С. 35–39.
52. Кучеренко И.В., Миков А.Д., Геря Т.В. и др. Тектонические факторы рудообразования и элементы минеральной зональности в одном из кварцево-жильных месторождений золота Восточной Сибири // Вопросы структурной геологии. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1987. – С. 28–41.